

## ОТЗЫВ НАУЧНЫХ РУКОВОДИТЕЛЕЙ

на диссертацию Даваасурэна Сумхуу на тему «*Исследование мощностной обратной связи и её влияния на устойчивость импульсного реактора ИБР-2М*», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Даваасурэн Сумхуу имея образование бакалавра в 2011 году поступил на работу в Лабораторию нейтронной физики им. И.М. Франка Объединенного института ядерных исследований (ЛИФ ОИЯИ) в группу №1 ядерной безопасности для подготовки диссертации магистра, которую защитил в Институте физики и технологий в Улан-Баторе (Монголия) в 2013 году. Успешно освоив во время обучения в магистратуре элементы теории стационарных и импульсных реакторов и принципы моделирования динамики импульсного реактора ИБР-2М, с 2013 г. Д. Сумхуу продолжил работу в группе ядерной безопасности по динамике ИБР-2М с утверждением его соискателем учёной степени кандидата наук. За время работы им были усвоены в полном объёме дисциплины, предусмотренные программой послевузовской подготовки, а также сданы все необходимые экзамены кандидатского минимума.

В составе научной группы ядерной безопасности Сумхуу участвовал в разработке моделей динамики реактора, в обработке и анализе экспериментальных данных, в оценке параметров мощностной обратной связи, в моделировании переходных процессов мощности реактора и в оценке его устойчивости при разных режимах работы реактора и при разных вариантах автоматического регулятора.

Модель импульсного реактора ИБР-2М для исследования динамики представлена в виде дискретной системы управления, состоящей из линейных и нелинейных блоков. В отличие от стационарных реакторов, для которых зависимость переменных от времени выражается дифференциальными уравнениями, для импульсного реактора периодического действия аналогичная зависимость выражается разностными уравнениями. Линейные блоки модели характеризуются дискретными передаточными функциями, полученными в результате использования Z-преобразования дискретных переменных. Нелинейные зависимости переменных в уравнениях кинетики реактора и мощностной обратной связи учтены в модели введением соответствующих нелинейных элементов.

Для оценки правильности созданной модели проведены тестовые проверки. В них проведено сравнение смоделированных переходных процессов с зарегистрированными процессами в реакторе ИБР-2М при сбросе аварийной защиты, когда амплитуда импульса мощности уменьшалась более чем на четыре порядка. Проведённое при разных уровнях средней мощности (от 0,2 до 2 МВт) моделирование показало хорошее приближение смоделированных процессов к зарегистрированным, что подтвердило правильность созданной модели.

Дана оценка влияния на переходные процессы параметров автоматического регулятора. Рассмотрены два наиболее естественных варианта автоматического регулятора, удовлетворяющего статистически оптимальному критерию: минимуму среднеквадратического отклонения амплитуд будущего импульса мощности на основании информации, полученной в уже прошедших импульсах. Первый вариант характеризуется плавным старением информации: более ранней информации придается меньший вес. Второй вариант характеризуется скачкообразным видом старения информации, полученной из фиксированного количества последних импульсов, более ранняя информация не учитывается вообще.

На основе анализа переходных процессов мощности, обусловленных прямоугольными колебаниями реактивности при работе импульсного реактора ИБР-2М в режиме саморегулирования, оценены значения параметров модели МОС.

Получены оценки запасов устойчивости реактора по амплитуде и фазе при разных значениях средней мощности в режиме саморегулирования и в режиме автоматического регулирования. На основе анализа вычисленных частотных характеристик и параметров МОС реакторов ИБР-2 и ИБР-2М показано, что оба реактора устойчивы в штатном режиме при энерговыработке до 1000 МВт·сут. Для оценки устойчивости реактора при большей энерговыработке необходимы оперативные измерения параметров МОС.

Учитывая, что со временем параметры меняются и, следовательно, реактивность, что, как показывает опыт эксплуатации, приводит к качественному изменению характера переходных процессов и к изменению запасов устойчивости реактора, важно следить за изменениями реактивности. В связи с этим создана модель импульсного реактиметра, вычисляющего реактивность в импульсах на основе обратных уравнений модели динамики.

Полученные результаты имеют 100-процентную практическую ценность, поскольку используются для обоснования безопасной и надежной работы реактора. Работа Даваасурэна Сумхуу несомненно имеет новизну и научную ценность.

По результатам проведённых исследований в рецензируемых журналах четыре работы опубликованы и две работы приняты к публикации.

За время работы Сумхуу показал себя квалифицированным специалистом, овладевшим предметом исследования и обладающим необходимыми навыками математической обработки экспериментов и проведения теоретических расчетов, а также работы с литературой по темам провидимых исследований. С набором поставленных задач диссертант справился в полном объеме. Диссертация Д. Сумхуу представляет собой законченную квалификационную работу, полностью соответствующую требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата наук. Содержание и значимость работы Даваасурэна Сумхуу позволяют считать автора достойным присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

#### Научные руководители:

Начальник группы ядерной безопасности  
ЛНФ, ОИЯИ  
кандидат физико-математических наук

Ю.Н. Пепельшев

старший научный сотрудник  
группы ядерной безопасности  
ЛНФ, ОИЯИ  
кандидат технических наук

А.К. Попов

Подписи Ю.Н. Пепельшева и А.К. Попова заверяю,  
Ученый секретарь ЛНФ ОИЯИ



Д.М. Худоба